

УДК 538.9

А. А. Комарский*, И. В. Крутикова

Институт электрофизики УрО РАН, г. Екатеринбург

*kivi14.07@yandex.ru

КЕРАМИЧЕСКИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ ОКСИДЫ ИТТРИЯ, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОГО ИСПАРЕНИЯ

Наночастицы $\text{Ce}^{3+}:\text{Y}_2\text{O}_3$, $\text{Pr}^{3+}:\text{Y}_2\text{O}_3$, $\text{Ce}^{3+}:(\text{La}_x\text{Y}_{1-x})_2\text{O}_3$, $\text{Pr}^{3+}:(\text{La}_x\text{Y}_{1-x})_2\text{O}_3$ были получены методом лазерного испарения с помощью иттербиевого волоконного лазера. Полученные нанопорошки состоят из сферических частиц со средним размером 14...17 нм. Структурные и морфологические свойства наночастиц были исследованы с помощью РФА, ПЭМ, БЭТ, ИК-Фурье спектроскопии.

Ключевые слова: наночастицы, лазерное испарение, керамика, оксид иттрия, сцинтилляторы, структура

A. A. Komarskiy, I. V. Krutikova

NANOSTRUCTURED CERAMIC YTTRIA OBTAINED BY LASER EVAPORATION

$\text{Ce}^{3+}:\text{Y}_2\text{O}_3$, $\text{Pr}^{3+}:\text{Y}_2\text{O}_3$, $\text{Ce}^{3+}:(\text{La}_x\text{Y}_{1-x})_2\text{O}_3$, $\text{Pr}^{3+}:(\text{La}_x\text{Y}_{1-x})_2\text{O}_3$ nanoparticles were fabricated by laser ablation. The nanopowders consisted of spherical particles with average size of 14÷17 nm. The structural and morphological properties of the nanoparticles were investigated employing TEM, BET, FT-IR, XRD analysis.

Key words: nanoparticles, laser ablation, ceramics, yttrium oxide, scintillators, structure

Наноструктурированный оксид иттрия (Y_2O_3) обладает высоким светопропусканием в видимой и ИК-области спектра, высокой термо- и химической стойкостью и является перспективным материалом для твердотельных лазеров, люминофоров и сцинтилляторов [1]. Трудно изготовить лазерный монокристалл Y_2O_3 [2] из-за его высокой температуры плавления (2450 °С), но гораздо легче изготовить керамику Y_2O_3 , поскольку температура спекания керамики примерно на 700 °С ниже, чем температура плавления. В тоже время одной

из основных проблем создания высокопрозрачных материалов остается синтез наночастиц. Известно, что методы получения наночастиц при помощи размола и дробления не обеспечивают необходимой однородности распределения частиц по размерам и вносят загрязнения в измельчаемый материал. Наночастицы, полученные химическими методами, часто неоднородны по своей структуре, составу и загрязнены продуктами реакции. В целом же большинство немеханических методов получения наночастиц ограничено по производительности.

В настоящей работе нанопорошки $\text{Ce}^{3+}: \text{Y}_2\text{O}_3$, $\text{Pr}^{3+}: \text{Y}_2\text{O}_3$, $\text{Ce}^{3+}: (\text{La}_x\text{Y}_{1-x})_2\text{O}_3$, $\text{Pr}^{3+}: (\text{La}_x\text{Y}_{1-x})_2\text{O}_3$ были получены методом испарения материала с помощью волоконного иттербиевого лазера YLR-1000 (IPG Photonics, Россия) с длиной волны 1,07 мкм и последующей конденсации паров в потоке буферного газа. Метод лазерного испарения подробно описан в работе [3]. В качестве исходных материалов использовали коммерчески доступные порошки оксида иттрия, лантана, церия и празеодима высокой чистоты ($> 99,99\%$). Мишень для испарения диаметром 66 мм и толщиной 20 мм была получена из смеси порошков нужного состава методом одноосного прессования. Испарение наночастиц происходило в атмосфере очищенного воздуха, в отсутствие реактивов, что обеспечивает получение высокочистых веществ. Особенности технологии позволили получить сферические слабоагрегированные наночастицы со средним размером 14...17 нм и узким диапазоном дисперсии, что подтверждается результатами просвечивающей электронной микроскопии. Лазер работал в модулированном режиме с частотой 5 кГц при средней мощности лазера 255 Вт при длительности импульса $t_{\text{имп}} = 60$ мкс. Интенсивность лазерного излучения в фокальном пятне $\sim 10^6$ Вт/см². Средняя производительность нанопорошков оксида иттрия составила около 23 г/ч.

С помощью методов РФА, ПЭМ, БЭТ, ИК-Фурье спектроскопии были исследованы структурные и морфологические свойства полученных наночастиц. Установлено, что наночастицы составов Y_2O_3 и $(\text{La}_x\text{Y}_{1-x})_2\text{O}_3$ представляют собой однофазные твердые растворы с моноклинной формой ($C2/m$). Это характерно для наночастиц иттрия, полученных методом лазерного синтеза [4]. Согласно [4], данная моноклинная фаза метастабильна. После отжига при температуре от 800 до 1200 °С в течение 3 часов моноклинная фаза экзотермически превращается в кубическую. Температура фазового перехода зависит от концентрации примесей и размера частиц. Рентгеноструктурный

анализ отожженных до 1200 °С нанопорошков показал, что наночастицы являются однофазными кубическими (*Ia-3*). Установлено, что наночастицы содержат значительные количества OH^- , CO_3^{2-} в результате адсорбции воды и газов из окружающей атмосферы.

Данные наночастицы могут быть хорошим материалом для изготовления высокоплотных керамических изделий, в том числе наноструктурных сцинтилляторов, если будет предложен метод спекания наночастиц до малодефектной высокоплотной керамики.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 18–32–00531).

Литература

1. $\text{Yb}^{3+}:\text{Y}_2\text{O}_3$ ceramics — a novel solid-state laser material / J. Lu [et al.] // Jpn. J. Appl. Phys. 2002. V. 41. L1373–L1375.

241. Ivanov M., Khrustov V., Vyukhina I. Growth of optical grade yttrium oxide single crystal via ceramic technology // Opt. Mater. 2012. V. 34. Is. 6. P. 955–958.

242. Получение композиционных нанопорошков с помощью волоконного иттербиевого лазера и их характеристики / Ю. А. Котов [и др.] // Журн. техн. физ. 2011. Т. 81, № 5. С. 65–68.

243. Metastable states of laser synthesized oxide nanoparticles / M. G. Ivanov [et al.] // J. of All. Comp. 2009. Vol. 478, № 1–2. P. 503–506.